

## Situación ambiental de la bahía de Sagua (Cuba)

### *ENVIRONMENTAL SITUATION OF THE BAY OF SAGUA (CUBA)*

Miriam MARTÍNEZ VARONA, Yenifer ESPLUGAS BERMÚDEZ y colaboradores (Colectivo de Trabajo del Laboratorio de Contaminación CIMAB)

Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte (CIMAB). Carretera del Cristo #3 Esquina Tiscornia, Casablanca, Regla, Cuba. Correo-e: miriam@cimab.transnet.cu

#### RESUMEN

La bahía de Sagua La Grande está localizada en la costa norte de la provincia de Villa Clara, zona central de Cuba la misma constituye una zona de cierta importancia pesquera y una vía de comunicación marítima en la región norte - centro de la isla. De ahí el objetivo de diagnosticar la situación ambiental de la bahía de Sagua. La toma de muestra se realizó de acuerdo a la instrucción I-06 y la ISO 5667-3:2012. Los resultados más relevantes fueron la baja transparencia de sus aguas y elevadas concentraciones de nutrientes, específicamente de nitrato y amonio. Los valores de clorofila-*a* fitoplanctónica obtenidos en la bahía hace que clasifiquen las aguas como oligotróficas. El Índice de Calidad del Agua (ICA) obtenido hace que clasifique como pobre y marginal, no se apreció diferencia significativa en los resultados entre las estaciones estudiadas, se encontró diferencia significativa entre los dos períodos de estudios en los siguientes indicadores (salinidad, Pt, T y pH).

**Palabras clave:** bahías, indicadores de calidad, contaminación marina, ecosistemas, índices de calidad ambiental.

#### ABSTRACT

The bay of Sagua La Grande is located on the north coast of the province of Villa Clara. This bay is an important area of fishing and a maritime communication channel between the north and the central region of Cuba. Due to the importance of this bay to the country, the aim of this study is diagnosing the environmental situation of the Bay of Sagua. The sample was taken according to instruction I-06: "and ISO 5667-3: 2012. The most relevant results were the low transparency of its waters and high concentrations of nutrients, specifically nitrate and ammonium. The values of chlorophyll-*a* phytoplankton obtained in the bay make them classify the waters as oligotrophic. The Water Quality Index (ICA, in Spanish) obtained makes it classified as poor and marginal, there was no significant difference in the results between the studied stations, there was a substantial difference between the two study periods in the following indicators (salinity, Pt, T, and pH).

**Keywords:** bays, quality indicators, marine pollution, ecosystems, environmental quality indexes.

#### INTRODUCCIÓN

La bahía de Sagua La Grande está localizada en la costa norte de la provincia de Villa Clara, zona central de Cuba, a unos 13 kilómetros al norte del poblado de Sagua La Grande. Está limitada al norte por una agrupación de cayos que pertenecen al Archipiélago Sabana - Camagüey; (latitud 23006'N, longitud 80007'W); al noroeste por los cayos Empalizadas de Barlovento; hacia el oeste por los cayos

que la separan de la bahía de Carahatas; al sur por el tramo de costa de la Isla de Cuba, comprendido entre la Ensenada de la Bamba y Punta Frenes (220 54'N y 790 59'W) y al sureste por la bahía del Novillo.

Actualmente no es de las bahías cubanas más perturbadas ambientalmente, la misma constituye una zona de cierta importancia pesquera y una vía de comunicación marítima en la región norte - centro de la isla. Relativamente cerca de la misma, se encuentran dos zonas de alto valor turístico, como son la

playa de Varadero al oeste y la cayería norte de las provincias Villa Clara, Ciego de Ávila y Camagüey, al este. Esta ubicación entre otras razones, argumenta la importancia de mantener la vigilancia y control de la calidad ambiental del entorno.

La bahía de Sagua La Grande es del tipo semi abierta, presentando muchas pasas y canalizos a través de los cayos que la bordean, configurando un perímetro de cerca de 100 km. Sus costas son irregulares y bajas, cubiertas de mangles, con formaciones de ensenadas y esteros que en algunos lugares constituyen pequeños segmentos de playas. La bahía tiene profundidades de 0.5 a 4.1 m, con pendientes muy suaves, excepto el canal que la atraviesa con profundidades generales entre 5.0 y 8.0 m. Las pendientes del canal en el área de Boca de Maravillas o Marillanes caen bruscamente, con profundidades de hasta 16 m. El fondo generalmente es de fango arenoso gris.

A la bahía fluyen pocas corrientes fluviales, aunque una de ellas es el río Sagua La Grande, el cual se bifurca en dos brazos próximo a su desembocadura en la parte sur de la bahía y constituye un delta fluvial. El resto de las corrientes fluviales son de poco caudal y forman pequeñas zanjas que se utilizan como drenes de las actividades agropecuarias, por ejemplo, la Zanja del Mosto que desemboca en la Ensenada de Toribio.

El objetivo de este trabajo ha sido diagnosticar la situación ambiental de la bahía de Sagua.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la red de estaciones de muestreo (Figura 1), se han tenido en cuenta los resultados obtenidos en estudios anteriores, la ubicación de las fuentes terrestres de contaminación ya conocidas y las características físico - geográficas de la bahía. Se realizó un primer muestreo en el período poco lluvioso y un 2 muestreo en el período lluvioso. La toma de muestras se realizó de acuerdo a la



**Figura 1.** Red de estaciones para el estudio de la bahía de Sagua la Grande. (Fuente: Google Earth).

Instrucción I-06: “Indicaciones específicas para la toma, transportación y conservación de muestras”, implementado en el Sistema de Gestión de la Calidad del Laboratorio de Ensayos del Cimab”, la Norma Internacional ISO 5667-3: 2012: Calidad de agua-Muestreo- Parte 3: Preservación y manipulación de muestras de agua y Grasshoff and Ehrhardt (2002). En los casos requeridos las muestras inmediatamente después de ser colectadas, fueron preservadas de acuerdo a las recomendaciones del Standard Methods (APHA, 2017).

Las muestras de agua para los análisis bacteriológicos se colectaron en frascos estériles, al nivel de profundidad superficial en la misma red de estaciones. Su evaluación se realizó mediante la determinación de los coliformes termotolerantes (bacterias indicadoras de contaminación fecal). La técnica utilizada para su determinación fue la del Número Más Probable NMP 100 mL<sup>-1</sup> en serie de 5 tubos respectivamente, utilizando un factor de dilución de 1/10, según la metodología descrita en APHA (2017).

Las muestras destinadas al análisis de los indicadores de calidad físico-química y biológica de las aguas se realizaron utilizando una botella tipo “Van Dorn” de 2 litros de capacidad a un sólo nivel de profundidad (superficie).

Para la determinación de clorofila-*a* fitoplanctónica se tomaron muestras de 1 litro de agua superficial, fueron filtradas al vacío con filtros Whatman GF/C. La extracción de los pigmentos se realizó con acetona al 90% y 10 partes de solución saturada de Carbonato de magnesio y se colocó a 4°C de 2 a 24 horas y posteriormente fueron leídas a diferentes longitudes de onda 664 y 750 nm sin acidificar y 665 y 750 nm acidificando, con un espectrofotómetro UV Génesis 10. La concentración se estimó según la ecuación propuesta por ISO 10260 (1992).

Los valores obtenidos de los indicadores de calidad ambiental de las aguas se compararon, cuando fue posible, con los Índices de Calidad de la Norma Cubana NC 25:1999. En el caso de los valores obtenidos de los indicadores bacteriológicos se compararon además con la concentración máxima permisible para el contacto directo exigida en la Norma Cubana NC 22: 1999: “Lugares de Baño en Costas y Masas de Aguas Interiores. Requisitos Higiénicos Sanitarios” (ONN, 1999b).

Los resultados analíticos fueron comparados también con estudios anteriores y con otros criterios internacionales.

Indicadores y períodos hidrológicos		Min	Máx.	media	Porcentaje que supera la NC25:1999 %
Sal.	Período lluvioso	21.85	38.37	30.05	12.5
	Período poco lluvioso	11.62	34.20	33.72	12.5
pH	Período lluvioso	8.07	8.53	7.73-8.19	12.5
	Período poco lluvioso	7.73	8.19	8.07-8.53	62.5
OD	Período lluvioso	5.11	6.58	5.73	12.5
	Período poco lluvioso	3.94	6.67	5.59	37.5
PO <sub>4</sub>	Período lluvioso	0.02	0.19	0.02	37.5
	Período poco lluvioso	0.01	0.06	0.09	12.5
NO <sub>3</sub>	Período lluvioso	0.14	0.620	0.26	100
	Período poco lluvioso	0.01	0.85	0.36	75
NH <sub>4</sub>	Período lluvioso	0.02	0.35	0.22	62.5
	Período poco lluvioso	0.1	0.48	0.17	100
PT	Período lluvioso	0.180	0.460	0.29	-
	Período poco lluvioso	0.060	0.240	0.14	-

**Tabla 1.** Valores de tendencia central de los indicadores estudiados en la bahía por periodos estacionarios campaña 2018.

Referencia de calidad NC 25:1999								
Indicadores	Sal.	pH	OD	PO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	Trans.	SST
Buena	26 - 35	8.1 – 8.3	> 5	< 0.01	< 0.03	< 0.05	100-50	<100
Dudosa	10 - 25	6.5 – 8.0	3 - 5	0.01-0.60	0.03 – 0.05	0.05 – 0.2	50-20	100-300
Mala	< 10	< 6.5	< 3	> 0.60	> 0.05	> 0.2	<20	>300

**Tabla 2.** Valores de Referencia de calidad NC 25:1999

A partir de los resultados de los análisis se calculó el Índice de Calidad del Agua (ICA) desarrollado por CCME WQI (2003), el cual propone la siguiente escala:

*Excelente:* Índice entre 95 - 100. Ausencia virtual de deterioro. Condiciones muy cercanas a las prístinas.

*Buena:* Índice entre 80 - 94. Grado menor de deterioro. Condiciones que rara vez se alejan de los niveles deseables.

*Aceptable:* Índice entre 65 - 79. Deterioro ocasional. Algunas veces las condiciones se alejan de los niveles deseables.

**Marginal:** Índice entre 45 - 64. Deterioro frecuente. Las condiciones se alejan con frecuencia de los niveles deseables.

**Pobre:** Índice entre 0 - 44. La calidad del agua casi siempre presenta deterioro. Las condiciones se alejan generalmente de los niveles deseables.

El procesamiento estadístico de los datos se realizó por los sistemas Excel y posteriormente procesados mediante el sistema SPSS versión 17 (Statistical Package for Social Sciences, SPSS, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los valores de tendencia central de los indicadores estudiados en la bahía. En estos resultados de la evaluación de la calidad de las aguas se aprecia que la bahía presenta buena oxigenación con valores de concentración de oxígeno disuelto por encima del valor límite para aguas de *calidad buena* ( $5 \text{ mg L}^{-1}$ ), recomendado en la NC

25:1999 (Tabla 2). Los valores de pH en ambos períodos clasifican como agua de *calidad buena*, según la propia norma. Estos resultados no coinciden con los obtenidos en el 2017 por (Ruiz et al., 2017).

Los valores de salinidad en el período poco lluvioso en las estaciones 2 (Punta Frenes), 5 (Cayo Mendoza), 6 (Punta Gorda) y 7 (Punta Caballero) y 8 (Cayo Bamba) fueron superiores al intervalo 26 - 35 recomendado en la NC 25:1999 (tabla 2) para ser considerada de *calidad buena*, estos resultados coinciden con lo encontrado por diversos autores en la región objeto de estudio, esto se debe a que se encuentran bajo el efecto combinado de la alta evaporación que ocurre en este ecosistema, el represamiento de los ríos, baja profundidad y el poco intercambio o renovación de las aguas en algunas zonas de la región, lo cual propicia una mayor concentración de las sales (Fernández et al., 1993; Siam et al., 2007; Betanzos et al., 2008 y Ruiz et al., 2017).

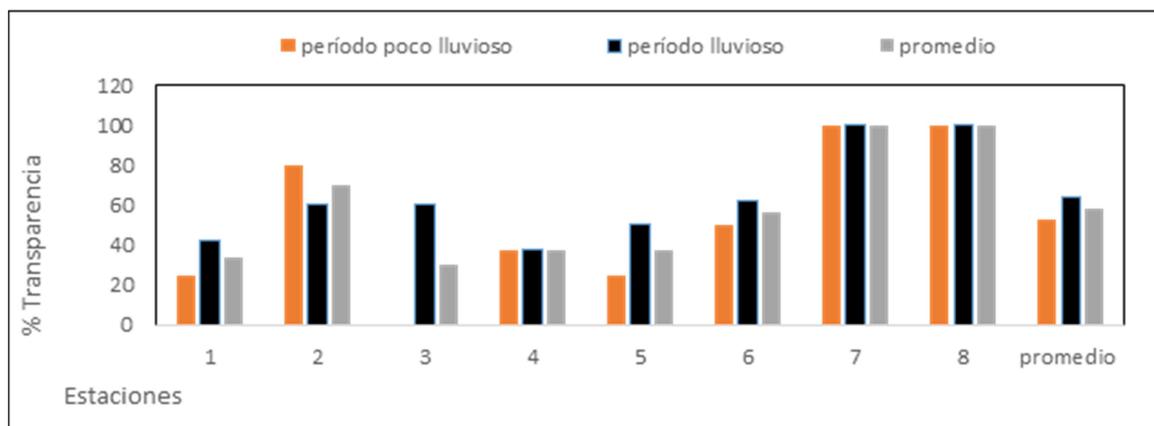


Figura 2. Valores de transparencia para ambos períodos. Bahía Sagua

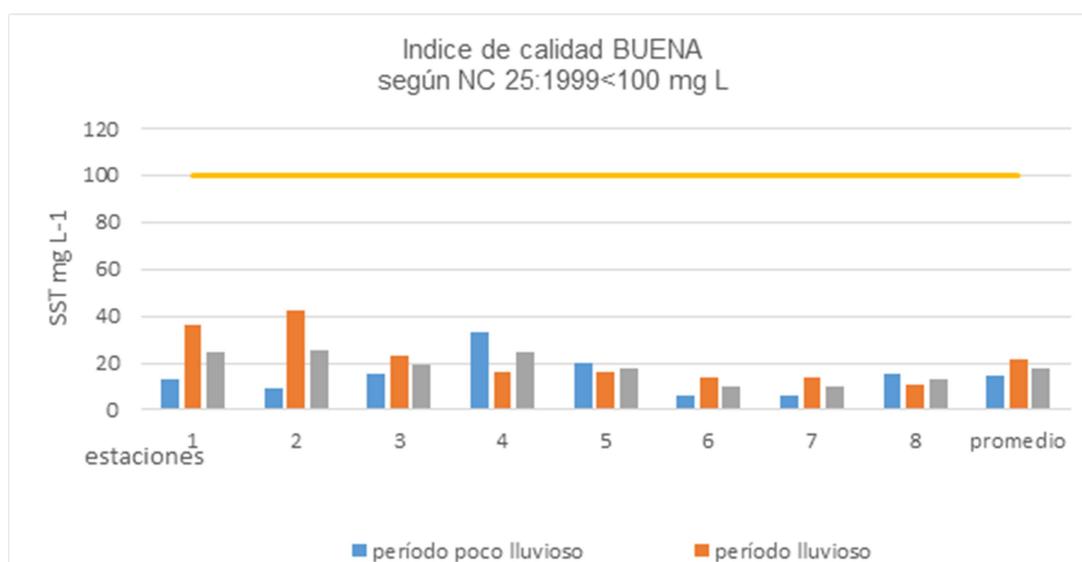
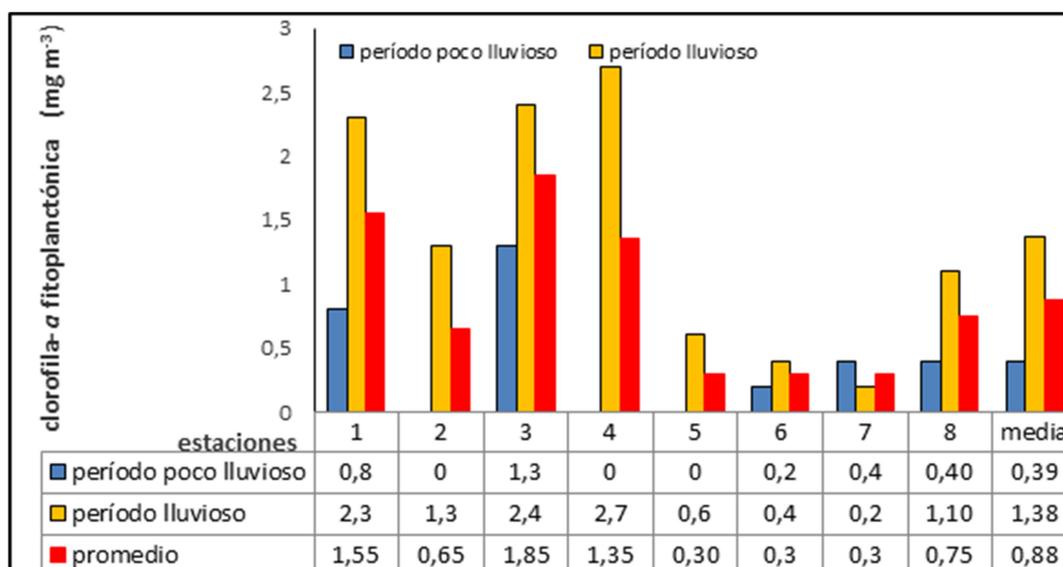


Figura 3. Concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) en ambos períodos hidrológicos.



**Figura 4.** Concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica por estaciones de muestreo en los períodos poco lluvioso y lluvioso y sus valores medios.

Estaciones	1	2	3	4	5	6	7	8
ICA	27.3	54.3	54.5	50.2	52.7	45.8	48.2	40.6

**Tabla 3.** Valores de la clasificación del ICA por estación de muestreo

Los valores obtenidos para el amonio y nitrato (tabla 1) en ambos períodos hidrológicos se encuentran por encima del recomendado por la NC 25:1999 (Tabla 2), todas las estaciones clasifican como aguas de *calidad mala* y *dudosa*, excepto los valores obtenidos de nitrato en las estaciones 3 y 5 en el período lluvioso que clasifican las aguas como de *calidad buena*.

Los fosfatos en el período poco lluvioso sólo en las estaciones 1, 3 y 8 son considerados agua de *calidad dudosa*. Sin embargo, en el período lluvioso solamente la estación 1, es considerada agua de *calidad dudosa*.

A pesar de que el fósforo total no está contemplado en las especificaciones de la Norma Cubana NC 25:1999 (ONN. 1999a), es un indicador de interés ambiental, al comparar los resultados obtenidos con criterios internacionales, como los propuestos por Carlson y Simpson (1996), que establecen un intervalo de 0.024 - 0.096 mg L<sup>-1</sup>, como indicativo de aguas eutróficas, la totalidad de las estaciones en ambos períodos superan este valor, considerando estas como aguas eutróficas.

Al analizar la transparencia relativa del agua en la bahía (Figura 2), osciló entre 0 y 100 % en el período poco lluvioso y entre 37.6 y 100 % en el período lluvioso.

Se aprecia en la Figura 3 que las estaciones 1 (Entronque río Sagua La Grande) y 4 (Desembo-

cadura N del río) en ambos períodos hidrológicos presentaron valores de transparencia que catalogan estas aguas de *calidad dudosa*, según la NC 25:1999 (Tabla 2), la estación 3 (Desembocadura S del río) en el período poco lluvioso por el valor obtenido de 0%, clasifica como aguas de *calidad mala*.

El resto de las estaciones los valores de este indicador se encontraron dentro del intervalo (100 - 50%) en ambos períodos clasifican como aguas de *calidad buena*. El estudio precedente realizado en el 2017 por Ruiz et al. (2017), las estaciones 3 y 5 fueron las que presentaron valores que catalogaban las mismas con *calidad dudosa*.

La Figura 3 muestra las concentraciones de los SST en los dos períodos hidrológicos, así como la concentración límite a partir de la cual no se considera el agua de *calidad buena*, establecida en la NC 2:1999 (Tabla 2).

En ambos períodos estacionales las concentraciones se encuentran por debajo de 100 mg L<sup>-1</sup> lo que hace que clasifiquen las aguas de *calidad buena*, según el valor establecido en la NC 25:1999 (Tabla 2). Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos en el estudio precedente de 2017 (Ruiz et al., 2017) donde los valores alcanzados en ambos períodos no excedieron el límite de 100 mgL<sup>-1</sup>, requisito de la NC-25:1999 para aguas de *calidad buena*.

La calidad bacteriológica de las aguas superficiales determinada por la concentración de coliformes termotolerantes (CTT) de la bahía en los dos períodos hidrológicos se clasifica de *calidad buena*, según NC 25 (ONN, 1999a) y apta para el contacto indirecto de acuerdo a lo planteado en NC 22 (ONN, 1999b). Estos valores coinciden con los obtenidos en el 2017.

La Figura 4 muestra las concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica en las estaciones de la bahía de Sagua, en los dos períodos hidrológicos y sus valores medios.

En el período lluvioso, en la mayoría de las estaciones, se obtuvieron las concentraciones más elevadas de clorofila-a fitoplanctónica con respecto al período poco lluvioso.

El análisis puntual por estaciones, mostró que en las estaciones 1 (Entronque río Sagua La Grande), 3 (Desembocadura S del río) y 4 (Desembocadura N del río), se obtuvieron los valores más elevados de clorofila-a fitoplanctónica en el período lluvioso. En el período poco lluvioso las concentraciones del indicador biológico fueron prácticamente nula, excepto en la estación 3 (Desembocadura S del río). Al relacionar los resultados de concentración de clorofila-a fitoplanctónica con los valores de los nutrientes (Tabla 1), se observa que a pesar de obtener valores de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y de amonio ( $\text{NH}_4$ ) por encima de los límites establecidos en la NC 25:1999 en todas las estaciones en ambos períodos de estudio, esto no influyó grandemente en las concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica obtenidas en el estudio.

Hasta la fecha se ha utilizado la clasificación propuesta por Margalef como único criterio de clasificación trófica. No obstante, en la literatura internacional más reciente existen otras clasificaciones que reportan concentraciones más elevadas de clorofila-a fitoplanctónica para catalogar un ambiente marino como eutrófico. Carlson y Simpson (1996) plantean que un ambiente marino se considera eutrófico, cuando los valores de clorofila-a fitoplanctónica se encuentran entre 20 – 56  $\text{mg m}^3$ .

Considerando el criterio de clasificación de Carlson y Simpson (1996), todas las estaciones en ambos períodos de estudio clasifican sus aguas como oligotróficas (0 – 2.6  $\text{mg m}^3$ ). Que no es más que un cuerpo de agua con baja productividad primaria.

De acuerdo con la escala para la clasificación del ICA, como se muestra (tabla 3) todas las estaciones poseen un ICA entre *Marginal* y *Pobre* influidos por la baja transparencia de sus aguas y las elevadas concentraciones de nutrientes, lo que implica un deterioro frecuente. Estos resultados no coinciden con los obtenidos en el 2017 por Ruiz et al. (2017), donde se encontraron en las estaciones 1 (Entronque río Sagua La Grande), 3 (Desembocadura S del río), 5 (Cayo Mendoza), y 8 (Cayo Bamba), ICA de *Aceptable* y *Bueno*, en el caso de la bahía de Sagua. Se aprecia un deterioro en la calidad del agua de la bahía de Sagua con relación al estudio realizado en el

2017 (Ruiz et al., 2017). Esto puede estar asociado a los efectos provocados por el fenómeno meteorológico (huracán Irma) ocurrido en septiembre de 2017.

El análisis estadístico realizado aplicando el SPSS para comprobar si existió diferencia entre ambos períodos se encontró que hubo diferencia significativa entre ambos períodos en (PT, pH y salinidad). No se encontró diferencia significativa entre las estaciones muestreadas.

## CONCLUSIONES

El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica que las estaciones monitoreadas presentan un agua de calidad entre *Marginal* y *Pobre*, fundamentalmente por los valores de transparencia en las estaciones y los elevados valores de nitrato y amonio obtenidos en ambas campañas de muestreo.

La calidad bacteriológica de las aguas en cuanto a contaminación fecal, en las estaciones del interior de las bahías, se clasifica como *calidad buena* y apta para el contacto indirecto según las normas referidas, en ambos períodos hidrológicos.

Según los resultados obtenidos para el indicador biológico estudiado las aguas de la bahía se clasifican como oligotróficas.

## AGRADECIMIENTOS

## BIBLIOGRAFÍA

- APHA-WPCF-AWWA (2017). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. 23th Edition New York. 1480 pp.
- Ávila, P., Cicerone, D. & da Costa, D. (2011). Propuesta de un índice de calidad de agua para la región de Latinoamérica y el Caribe. Ed. Patricia Bedregal, Lima, Perú, ISBN: 978-612-00-0615-3, 179 pp.
- Carlson, R.E. and Simpson, J. (1996). A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society, 96 pp.
- CCME WQI (2003). A path forward for consistent Implementation and reporting. *National Water Quality Index workshop proceedings*. Halifax. Nova Scotia. Canada. 81 pp.
- CNNG (2000). Comisión Nacional de Nombres Geográficos. Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia. ISBN: 959-7049-08-2. Cuba. 250 pp.
- Grasshoff, K.; Ehrhardt, M. Kremling K. (2002). Methods of Seawater Analysis. Third. completely revised and extended Edition. 600 pp.
- ISMET (2017). Sistemas y régimen de lluvias en el archipiélago cubano. Instituto de Meteorología, Cuba. www.met.inf.cu

- ISO 5667-3 (1994). "Guidance on the preservation and handling of samples". *Water Quality. Sampling Part 3*.
- Larrea-Murrel, J., Rojas, M., Romeu, B., Rojas, N. y Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 44 (3): 24-34.
- Larrea, J., Rojas, M., Heydrich, M., Romeu, B., Rojas, N. y Lugo, D. (2009). Evaluación de la calidad microbiológica de las aguas del Complejo Turístico "Las Terrazas", Pinar del Río (Cuba). *Hig. Sanid. Ambient.* 9: 492-504.
- Margalef, R. (1974). *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona. 951 pp.
- ONN (1999a). Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Norma Cubana NC 25: 1999. Oficina Nacional de Normalización. Cuba, 9 pp.
- ONN (1999b). Lugares de Baño en Costas y Masas de Aguas Interiores. Requisitos Higiénicos Sanitarios. Norma Cubana NC 22: 1999. Oficina Nacional de Normalización. Cuba, 10 pp.
- PNUMA (2015): Medidas para la gestión ecosistémica de las zonas marinas y costeras - Guía de Introducción.
- Silva, H., Villalobos, B y Ortega, D. 2012. Calidad bacteriológica del agua del río Cataniapo, municipio Atures, estado Amazonas, Venezuela. *Bol. Mal. Salud Amb.* Vol.52, N1 Maracay, 6 pp.
- Simon, D. Costanzo, Mark J., O'Donohue and Dennison W. (2003). "Assessing the Seasonal Influence of Sewage and Agricultural Nutrient Inputs in a Subtropical River Estuary. *Estuaries* Vol. 26. No. 4A. 857-865
- Sinton, L. W. Hall, C. H., Lynch, P. A, and Davies-Colley. R. J. (2002). Sunlight Inactivation of Fecal Indicator Bacteria and Bacteriophages from Waste Stabilization Pond Effluent in Fresh and Saline Waters. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 68. No. 3. pp. 1122-1131.
- StatSoft, Inc. (2004). *STATISTICA (Data analysis software system)*. Vers 7.
- Valcárcel, L., Alberro, N. y Frías, N. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* Año 9, No.16, 2009 ISSN-1683-8904, Cuba. 5pp.